

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-004037

(43)Date of publication of application : 06.01.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/133

(21)Application number : 09-155011

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 12.06.1997

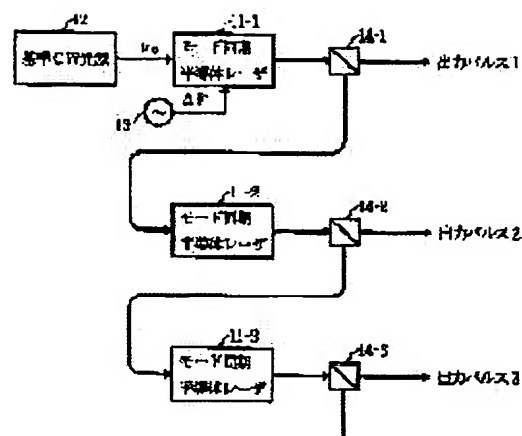
(72)Inventor : KATAGIRI YOSHIMASA
TAKADA ATSUSHI

(54) STANDARD LIGHT FREQUENCY GENERATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To control both an absolute wavelength and a frequency interval in a wide band at the same time by a method wherein mode synchronizing semiconductor lasers of different gain bandwidths are longitudinally connected together so as to make the leading or trailing edges of their light spectra overlap with each other, and all the semiconductor lasers are set coincident with each other in absolute wavelengths and pulse phase through a mutual light injection method.

SOLUTION: Reference CW light of light frequency ψ_0 is inputted from a reference CW light source 12 to a mode synchronizing semiconductor laser 11-1, and modulating signals of frequency ΔF are inputted from a microwave oscillator 13 to the mode synchronizing semiconductor laser 11-1 to synchronize with the reference CW light in reference timing. Then, the output pulse 1 of the mode synchronizing semiconductor laser 11-1 is partly injected into a mode synchronizing semiconductor laser 11-2 through the intermediary of a light splitter 14-1 to make the semiconductor laser 11-2 synchronize with it, and the output pulse 2 of the mode synchronizing semiconductor laser 11-2 is partly injected into a mode synchronizing semiconductor laser 11-3 through the intermediary of a light splitter 14-2 to make the semiconductor laser 11-3 synchronize with it, whereby the semiconductor lasers are set coincident with each other in absolute wavelength and pulse phase.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3527617

[Date of registration] 27.02.2004
[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Two or more mode locking semiconductor laser from which a gain band differs so that the skirt of an optical spectrum may lap mutually, The criteria CW light source which outputs the criteria CW light of predetermined optical frequency, and the electric oscillator which outputs the modulating signal of a predetermined frequency, If it has two or more optical branching means to branch in a part of light pulse outputted from said each mode locking semiconductor laser and any one of said two or more mode locking semiconductor laser is made into the 1st mode locking semiconductor laser This 1st mode locking semiconductor laser inputs said criteria CW light and said modulating signal. Each mode locking semiconductor laser after the 2nd mode locking semiconductor laser which outputs the 1st light pulse of the stable absolute wavelength and a phase, and adjoins said 1st mode locking semiconductor laser The standard optical frequency generator characterized by carrying out optical impregnation of the light pulse outputted from the mode locking semiconductor laser of the preceding paragraph through said optical branching means, and carrying out the sequential output of the light pulse of the mode locking semiconductor laser of the preceding paragraph absolutely synchronized with wavelength and a phase.

[Claim 2] Mode locking semiconductor laser is a standard optical frequency generator according to claim 1 characterized by being the higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser constituted by making into a basic unit the collision pulse mode synchronous semiconductor laser which has arranged the gain field to both ends and has arranged the saturable absorption field in the center section, and carrying out serial arrangement of this basic unit.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the standard optical frequency generator made to generate the standard optical frequency of a broadband using semiconductor laser equipment. The standard optical frequency of this broadband is used for the reference source of for example, a wavelength multiplex transmission system etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] The method of using the light modulation side band generated by modulating the continuation homogeneous light (CW light) which serves as criteria conventionally as a technique of generating the standard optical frequency of a broadband is proposed.

[0003] Drawing 6 shows the configuration of the conventional standard optical frequency generator using a light modulation side band. In drawing, the CW light source 61 generates the criteria CW light of the oscillation frequency ν according to criteria optical frequency. An optical modulator 62 inputs the modulating signal of the microwave outputted from the microwave oscillator 63 of this criteria CW light and a lower order phase noise. Although the symmetrical Mach-Zehnder-interferometer mold optical modulator which can generally take a high extinction ratio is used for an optical modulator 62, this really forms the optical waveguide and microwave waveguide which carried out phase matching on a lithium NAIO bait crystal, and it is constituted so that it may become a resonator to microwave. Since microwave is reinforced within a resonator, the light modulation of the large amplitude is possible with low power. It is the thing of a standard commercial item, a single side band phase noise includes a microwave oscillator 63 in all bands, and they are 100 dBc/Hz. What can be generated is used for a broadband ($\sim 50\text{GHz}$) over the following in the microwave of repressed high quality.

[0004] By the light modulation by such configuration, the light modulation side band for every modulation frequency is generated focusing on the criteria light to input. When this light modulation side band was generated with the Mach TSUENDA modulator on the strength based on a phase modulation, that optical frequency spectrum presented the COM of the shape of a pyramid which makes input light top-most vertices, and the reinforcement of each component was described by the Bessel function.

[0005] Here, the standard optical frequency of a broadband can be generated by arranging the light modulation side band generated from two or more CW light so that it may be mutually in agreement in the part of the skirt, as shown in drawing 7. In order to make this skirt in agreement, a phase-locked loop stabilization technique is used. This controls the oscillation frequency of the input light of a side band so that it extracts the one mode at a time from the part of the skirt with which two side bands lapped, respectively and the phase in the two modes synchronizes in while.

[0006] Drawing 8 shows the example of a configuration of the conventional standard optical frequency generator which used the phase-locked loop. drawing — setting — oscillation frequency ν_0 The light modulation side band 1 is generated using the CW light source 61-1, an optical modulator 62-1, and the microwave oscillator 63-1 of oscillation frequency ΔF . The mode of $(\nu_0 + N\Delta F)$ is taken out from this light modulation side band 1 through the optical

splitter 64-1 and a band pass filter 65-1. On the other hand, the light modulation side band 2 is generated using the CW light source 61-2 of the oscillation frequency ν , an optical modulator 62-2, and the microwave oscillator 63-2 of oscillation frequency ΔF . The mode of $(\nu - M\Delta F)$ is taken out from this light modulation side band 2 through the optical splitter 64-2 and a band pass filter 65-2 (N and M are $N=M=5$ at the integer of arbitration, and the example of drawing 7).

[0007] As for the mode of $(\nu - M\Delta F)$, only the frequency f of the electric oscillator 67-1 is formed for a Δ frequency by the sound optical frequency shifter 66-1. this $(\nu - M\Delta F + f)$ — it is multiplexed with the multiplexing vessel 68-1, and the mode and the mode of $(\nu_0 + N\Delta F)$ are inputted into a photodetector 69-1, and are changed into an electrical signal. It is inputted into a mixer 70-1, the relative phase error in the two modes is detected, and phase simulation realizes this electrical signal and the signal of a frequency f by carrying out the negative feedback control of the CW light source 61-2 by making it into an error signal.

[0008] When the phase in the two modes controls the oscillation frequency of the input light of a side band one by one like the following so that while synchronizes, the standard optical frequency of a broadband is obtained.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The control circuit where the conventional standard optical frequency generator shown in drawing 8 constitutes a phase-locked loop in proportion to the number of optical COM increases. And each control circuit is complicated as shown in drawing 8 , with the configuration which needs many CW light sources in order to obtain the standard optical frequency of a broadband, is still more complicated and becomes high cost extremely.

[0010] Moreover, by the series connection system of a phase-locked loop, since an error was accumulated, there was a trouble that a system became unstable. By the way, an optical injection-locking technique is one of those are replaced with a phase-locked loop stabilization technique. However, since the one half of a light modulation side band overlaps completely mutually with the configuration which newly forms a light modulation side band focusing on the wavelength in the mode extracted from the skirt of a light modulation side band, effectiveness is bad and very unsuitable for obtaining broadband standard optical frequency.

[0011] This invention aims at offering the standard optical frequency generator which can be made to generate the standard optical frequency by which wavelength and frequency spacing were absolutely controlled by coincidence by the easy configuration in a broadband.

[0012]

[Means for Solving the Problem] The standard optical frequency generator of this invention is a configuration controlled so that two or more mode locking semiconductor laser from which a gain band differs is connected to concatenation so that the skirt of an optical spectrum may lap mutually, and wavelength and a pulse phase (timing) are altogether in agreement absolutely by the phase alternating light pouring-in method.

[0013] By pouring into mode locking semiconductor laser the lightwave signal by which the phase between the modes synchronized and wavelength was generally controlled absolutely The absolute wavelength and the pulse phase (timing) of mode locking semiconductor laser are controllable to coincidence (reference:). [Z.Ahmed, et al.,] ["Locking characteristics of a passively] mode-locked monolithic DBR laser stabilized by optical injection", IEEE Photonics Technol.Lett, 8 (1), pp.37-39, 1996.

[0014] For this reason, two or more mode locking semiconductor laser from which a gain band differs is prepared so that the skirt of an optical spectrum as shown in drawing 2 may lap mutually, and wavelength and a pulse phase (timing) are first controlled by impregnation, compulsion, or phase-locked loop stabilization of criteria CW light, for example for the mode locking semiconductor laser by the side of minimum wavelength absolutely. Furthermore, the standard optical frequency of all mode locking semiconductor laser by which could synchronize wavelength and a pulse phase (timing) absolutely and wavelength and frequency spacing were absolutely stabilized as the result in the broadband can be generated by carrying out sequential impregnation of a part of the output pulse at the mode locking semiconductor laser which

branches and adjoints.

[0015] In addition, you may make it control sequentially the mode locking semiconductor laser into which criteria CW light is poured first to a short wavelength side from the mode locking semiconductor laser for example, not only the thing by the side of minimum wavelength but by the side of the longest wavelength.

[0016]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 shows the basic configuration of the standard optical frequency generator of this invention. As two or more mode locking semiconductor laser 11-1, 11-2, and 11-3 are shown in drawing 2, gain bands differ so that the skirt of an optical spectrum may lap mutually. It is the criteria CW light source 12 to the optical frequency ν_0 to the mode locking semiconductor laser 11-1 which has the gain of short wavelength most in it. Criteria CW light is inputted, the modulating signal of frequency ΔF is inputted from a microwave oscillator 13, and it is made to synchronize with criteria wavelength and criteria timing with compulsion or phase-locked loop stabilization. It branches through the optical splitter 14-1, and optical impregnation is carried out and a part of output pulse 1 of this mode locking semiconductor laser 11-1 is synchronized with the adjoining mode locking semiconductor laser 11-2. Thereby, the absolute wavelength and the pulse phase (timing) of an output pulse 2 of the mode locking semiconductor laser 11-2 can be synchronized.

[0017] Next, it branches through the optical splitter 14-2, and optical impregnation is carried out and a part of output pulse 2 of the mode locking semiconductor laser 11-2 is synchronized with the adjoining mode locking semiconductor laser 11-3. Hereafter, by performing such branching and impregnation one by one, it is controllable so that the absolute wavelength and the pulse phase (timing) of all mode locking semiconductor laser are in agreement. Thereby, the standard optical frequency generator of a broadband is realizable.

[0018] Hereafter, the concrete example of a configuration of each part is explained. It was based on the absorption line of HCN gas in the criteria CW light source 12. The 193.1THz DFB laser of the narrow line width with which optical frequency was absolutely locked by wavelength can be used.

[0019] The conventional multi-electrode accumulation mold mode locking semiconductor laser shown in drawing 3 can be used for the mode locking semiconductor laser 11. The modulating signal from the outside is impressed to a segment 1, and a pulse phase (timing) controls it. In the present condition, the repeat frequency of about 25GHz can be realized to stability. Component length is a refractive index. It is abbreviation when referred to as 3.5. 1.7mm is an optimum value. The inrush current control to the phase adjustment field of a segment 2 performs the synchronization to criteria CW light. In addition, a segment 3 is a DBR field and a segment 4 is a gain field. Shallow etching which does not arrive to a barrier layer performs division of an electrode, and separation resistance 1kohm is realized, stopping internal reflection as much as possible.

[0020] Moreover, the higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser shown in drawing 4 can be used for the mode locking semiconductor laser 11. Here, it is drawing 4 (a). The structure of the conventional collision pulse mode synchronous semiconductor laser which has arranged the gain field 21 to both ends, and has arranged the saturable absorption field 22 in the center section is shown. This serves as a basic unit of higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser. Drawing 4 (b) The structure of the higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser constituted by carrying out serial arrangement of this basic unit is shown.

[0021] Drawing 4 (a) In the shown collision pulse mode synchronous semiconductor laser (basic unit), since two pulses go the inside of a laser cavity around, a pulse train twice the repeat frequency of basic-mode spacing of a laser cavity can be generated. Mode spacing will become $\Delta F_m = c / (nL_0)$ if the velocity of light in n and a vacuum is set [the die length of a basic unit] to c for L_0 and an effective refractive index. For example, it is a repeat frequency if $n = 3.5$ and $L_0 = 450\mu\text{m}$. It is set to 190GHz.

[0022] drawing 4 (b) if a basic unit is the same with the shown structure of higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser — the repeat frequency of a higher-

harmonic mode locking pulse — a principle — it is eternal. In this case, if the number of basic units is set to N , the pulse which goes around will be $2-N$ piece, and basic-mode spacing will decrease to $1-N$. However, since the die length of a gain field increases N times, an improvement [more extensive than a basic unit] on the strength is expectable.

[0023] However, basic-mode spacing decreases with increase of N , and there is a possibility that higher-harmonic mode locking may become unstable. However, drawing 4 (b) Since the pulse which goes around collides with coincidence in the saturable absorption field 22 so that it may be shown, the only higher-harmonic mode locking condition is stabilized.

[0024] In addition, higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser is realizable like the conventional multi-electrode accumulation mold mode locking semiconductor laser with the multi-electrode structure by the electrode separation by etching.

[0025] Here, the device which stabilizes higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser by optical impregnation with reference to drawing 5 is explained. By impregnation of criteria CW light, the 1st higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser outputs the light pulse (super mode original) by which wavelength and a pulse phase (timing) were stabilized absolutely, and is poured into the 2nd higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser. Here, super mode is the mode locked by higher-harmonic mode locking, and the 6th example is shown by a diagram.

[0026] When the 2nd higher-harmonic-wave collision pulse mode synchronous semiconductor laser presents the super mode 1 which is in agreement with original super mode, the super mode synchronizes originally by optical impregnation. Also in the case of super mode 2 which is not in agreement with original super mode on the other hand, since repressed basic cavity mode and original harmonize, the super mode 2 at the time of un-pouring in is oppressed by optical impregnation, and the harmonizing super mode 3 grows. That is, even when super mode is an inequality, the optimal super mode will be automatically chosen by optical impregnation.

[0027] Thus, a repeat frequency can be high, also when an oscillation frequency cannot be easily adjusted by an inrush current etc., the significance of existence in repressed cavity mode can be high, and it cannot be concerned with mode spacing, but wavelength and a pulse phase (timing) can be stabilized absolutely one by one.

[0028] In addition, the phase-locked loop stabilization circuit to the passive-mode-locking semiconductor laser proposed conventionally, the dividing hybrid mode synchronizing method, etc. can be used as an approach of stabilizing the pulse phase (timing) of such higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser.

[0029]

[Effect of the Invention] As explained above, the standard optical frequency generator of this invention can generate the standard optical frequency of the broadband by which wavelength and frequency spacing were absolutely controlled by coincidence with a very easy and cheap configuration.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

TECHNICAL FIELD

[Field of the Invention] This invention relates to the standard optical frequency generator made to generate the standard optical frequency of a broadband using semiconductor laser equipment. The standard optical frequency of this broadband is used for the reference source of for example, a wavelength multiplex transmission system etc.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing showing the basic configuration of the standard optical frequency generator of this invention.

[Drawing 2] Drawing showing the relation of the gain band of two or more mode locking semiconductor laser.

[Drawing 3] Drawing showing the structure of multi-electrode accumulation mold mode locking semiconductor laser.

[Drawing 4] Drawing showing the structure of higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser.

[Drawing 5] Drawing explaining the device which stabilizes higher-harmonic collision pulse mode synchronous semiconductor laser by optical impregnation.

[Drawing 6] Drawing showing the configuration of the conventional standard optical frequency generator using a light modulation side band.

[Drawing 7] Drawing showing that it can synchronize when two side bands carry out phase simulation in the part of the skirt.

[Drawing 8] Drawing showing the example of a configuration of the conventional standard optical frequency generator using a phase-locked loop.

[Description of Notations]

11 Mode Locking Semiconductor Laser

12 Criteria CW Light Source

13 Microwave Oscillator

14 Optical Splitter

21 Gain Field

22 Saturable Absorption Field

[Translation done.]

* NOTICES *

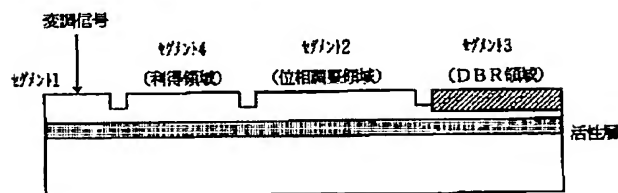
JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.***** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

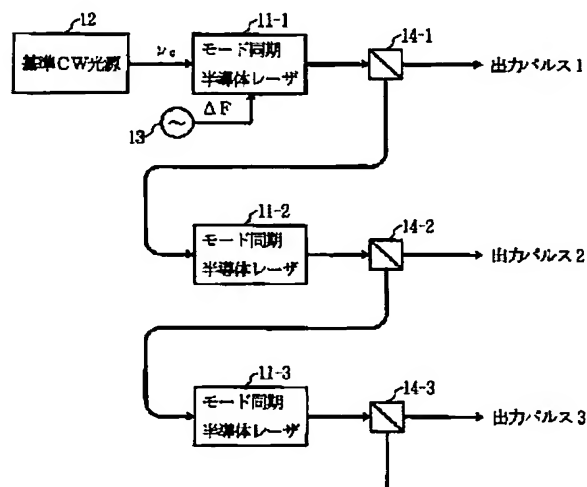
[Drawing 3]

多電極集積型モード同期半導体レーザの構成



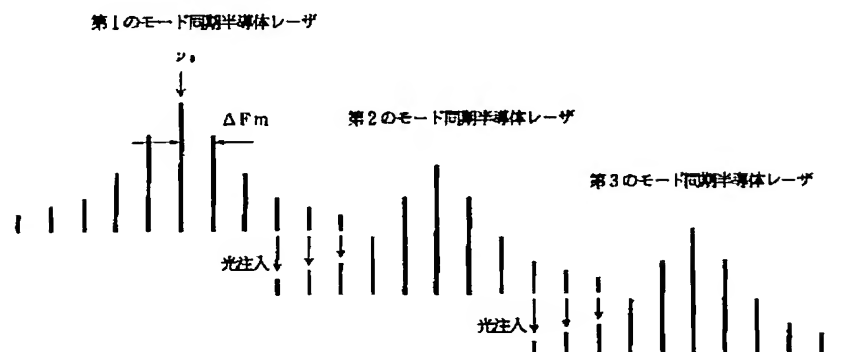
[Drawing 1]

本発明の標準光周波数発生装置の基本構成



[Drawing 2]

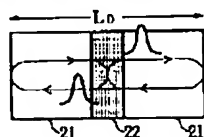
複数のモード同期半導体レーザの利得帯域の関係



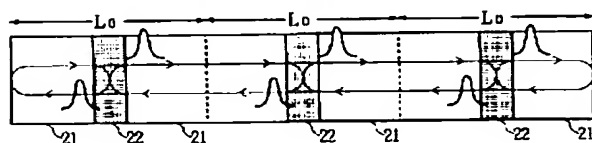
[Drawing 4]

高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの構造

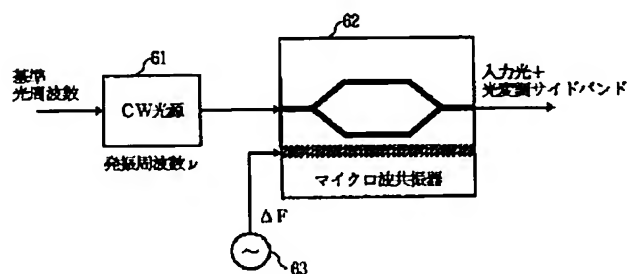
(a) 衝突パルスモード同期半導体レーザ (基本ユニット)



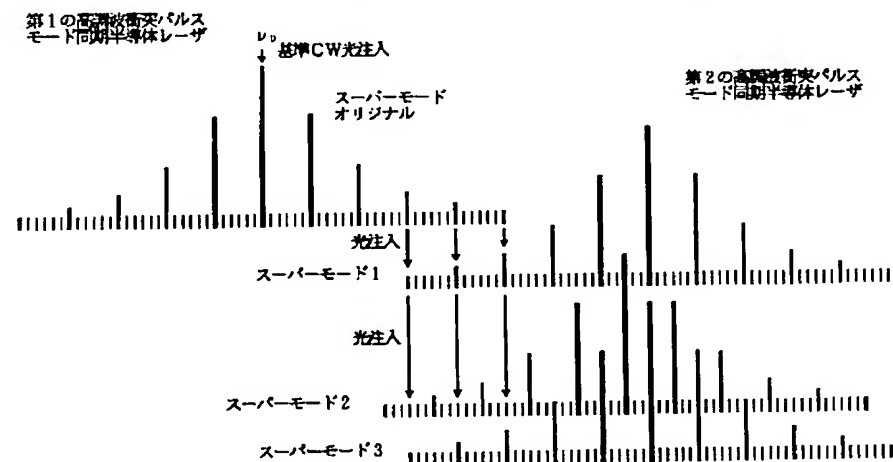
(b) 高調波衝突パルスモード同期半導体レーザ

**[Drawing 6]**

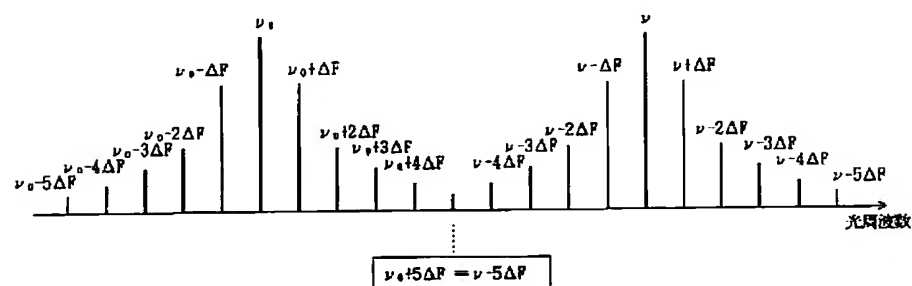
光変調サイドバンドを利用する従来の標準光周波数発生装置の構成

**[Drawing 5]**

高調波衝突パルスモード同期半導体レーザを光注入により安定化する機構

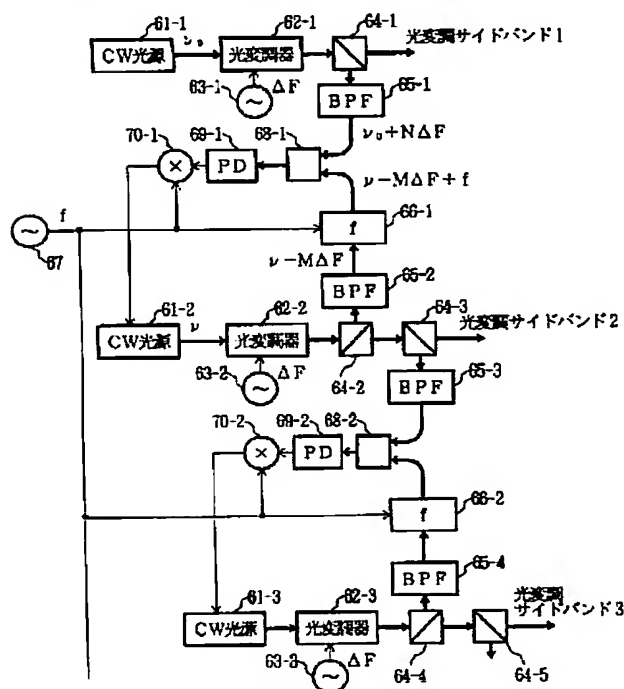
**[Drawing 7]**

2つのサイドバンドが裾の部分で位相同期させることにより同期可能であることを示す図



[Drawing 8]

位相同期ループを用いた従来の標準光周波数発生装置の構成例



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-4037

(43)公開日 平成11年(1999) 1月6日

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 S 3/133

識別記号

F I

H 0 1 S 3/133

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平9-155011

(22)出願日 平成9年(1997) 6月12日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 片桐 祥雅

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 高田 篤

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 古谷 史旺

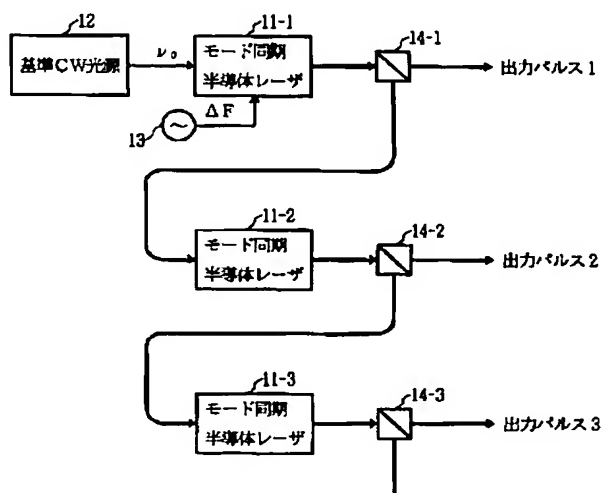
(54)【発明の名称】 標準光周波数発生装置

(57)【要約】

【課題】 簡単な構成により、広帯域で絶対波長と周波数間隔が同時に制御された標準光周波数を発生させる。

【解決手段】 光スペクトルの裾が互いに重なるように利得帯域が異なる複数のモード同期半導体レーザを縦続に接続し、相互光注入法によりすべて絶対波長およびパルス位相（タイミング）が一致するように制御する。

本発明の標準光周波数発生装置の基本構成



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光スペクトルの裾が互いに重なるように利得帯域が異なる複数のモード同期半導体レーザと、所定の光周波数の基準 CW 光を出力する基準 CW 光源と、

所定の周波数の変調信号を出力する電気発振器と、前記各モード同期半導体レーザから出力される光パルスの一部を分岐する複数の光分岐手段とを備え、前記複数のモード同期半導体レーザの内いずれか 1 つを第 1 のモード同期半導体レーザとすると、この第 1 のモード同期半導体レーザは、前記基準 CW 光および前記変調信号を入力し、安定化された絶対波長および位相の第 1 の光パルスを出力し、前記第 1 のモード同期半導体レーザに隣接する第 2 のモード同期半導体レーザ以降の各モード同期半導体レーザは、前段のモード同期半導体レーザから出力される光パルスを前記光分岐手段を介して光注入し、前段のモード同期半導体レーザの絶対波長および位相に同期させた光パルスを順次出力することを特徴とする標準光周波数発生装置。

【請求項 2】 モード同期半導体レーザは、両端に利得領域を配置し、中央部に可飽和吸収領域を配置した衝突パルスモード同期半導体レーザを基本ユニットとし、この基本ユニットを直列配置して構成される高調波衝突パルスモード同期半導体レーザであることを特徴とする請求項 1 に記載の標準光周波数発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ装置を用いて広帯域の標準光周波数を発生させる標準光周波数発生装置に関する。この広帯域の標準光周波数は、例えば波長多重伝送システムの参照光源等に使用される。

【0002】

【従来の技術】広帯域の標準光周波数を発生させる技術として、従来より基準となる連続単色光 (CW 光) を変調することにより発生する光変調サイドバンドを利用する方法が提案されている。

【0003】図 6 は、光変調サイドバンドを利用する従来の標準光周波数発生装置の構成を示す。図において、CW 光源 61 は、基準光周波数に応じた発振周波数 ν の基準 CW 光を発生する。光変調器 62 は、この基準 CW 光と低位相雑音のマイクロ波発振器 63 から出力されるマイクロ波の変調信号を入力する。光変調器 62 には、一般に消光比を高くとれる対称マッハツェンダ干渉計型光変調器が用いられるが、これはリチウムナイオベート結晶上に位相整合した光導波路とマイクロ波導波路を一体形成し、マイクロ波に対して共振器となるように構成されたものである。マイクロ波は共振器内で増強されるので、低電力で大振幅の光変調が可能になっている。マイクロ波発振器 63 には、標準市販品のものでシングル

サイドバンド位相雑音が全帯域に渡り 100dBc/Hz 以下に抑圧された高品質のマイクロ波を広帯域 (~50GHz) に渡って発生可能なものが利用される。

【0004】このような構成による光変調により、入力する基準光を中心に変調周波数ごとの光変調サイドバンドが発生する。位相変調に基づくマッハツェンダ強度変調器によりこの光変調サイドバンドを発生させた場合、その光周波数スペクトルは入力光を頂点とするピラミッド状のコムを呈し、各成分の強度はベッセル関数で記述されたものとなる。

【0005】ここで、広帯域の標準光周波数は、図 7 に示すように、複数の CW 光から発生する光変調サイドバンドを互いに裾の部分で一致するように配置することにより発生させることができる。この裾を一致させるには、位相同期ループ安定化技術が利用される。これは、2 つのサイドバンドの重なった裾の部分からそれぞれモードを 1 つずつ抽出し、その 2 つのモードの位相が同期するように一方のサイドバンドの入力光の発振周波数を制御するものである。

【0006】図 8 は、位相同期ループを用いた従来の標準光周波数発生装置の構成例を示す。図において、発振周波数 ν の CW 光源 61-1、光変調器 62-1、発振周波数 ΔF のマイクロ波発振器 63-1 を用いて、光変調サイドバンド 1 を発生する。この光変調サイドバンド 1 から ($\nu + N\Delta F$) のモードを光スプリッタ 64-1 およびバンドパスフィルタ 65-1 を介して取り出す。一方、発振周波数 ν の CW 光源 61-2、光変調器 62-2、発振周波数 ΔF のマイクロ波発振器 63-2 を用いて、光変調サイドバンド 2 を発生する。この光変調サイドバンド 2 から ($\nu - M\Delta F$) のモードを光スプリッタ 64-2 およびバンドパスフィルタ 65-2 を介して取り出す (N, M は任意の整数、図 7 の例では $N = M = 5$)。

【0007】($\nu - M\Delta F$) のモードは、音響光周波数シフタ 66-1 で電気発振器 67-1 の周波数 f だけ周波数差が設けられる。この ($\nu - M\Delta F + f$) のモードと、($\nu + N\Delta F$) のモードは、合波器 68-1 で合波されて光検出器 69-1 に入力されて電気信号に変換される。この電気信号と周波数 f の信号はミキサ 70-1 に入力され、2 つのモードの相対的な位相誤差が検出され、それを誤差信号として CW 光源 61-2 を負帰還制御することにより位相同期が実現する。

【0008】以下同様に、順次 2 つのモードの位相が同期するように一方のサイドバンドの入力光の発振周波数を制御することにより、広帯域の標準光周波数が得られる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】図 8 に示す従来の標準光周波数発生装置は、光コムの数に比例して位相同期ループを構成する制御回路が増大する。しかも、各制御回

路は図 8 に示すように複雑であり、広帯域の標準光周波数を得るために多くの CW 光源を必要とする構成では、さらに複雑で極めて高コストになる。

【0010】また、位相同期ループの直列接続系では、誤差が累積されるために系が不安定になる問題点があった。ところで、位相同期ループ安定化技術に代わるものとして光注入同期技術がある。しかし、光変調サイドバンドの裾から抽出したモードの波長を中心に新たに光変調サイドバンドを形成する構成では、光変調サイドバンドの半分が互いに完全に重なりあってしまうために極めて効率が悪く、広帯域な標準光周波数を得るには不适当である。

【0011】本発明は、簡単な構成により、広帯域で絶対波長と周波数間隔が同時に制御された標準光周波数を発生させることができる標準光周波数発生装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の標準光周波数発生装置は、光スペクトルの裾が互いに重なるように利得帯域が異なる複数のモード同期半導体レーザを縦続に接続し、相互光注入法によりすべて絶対波長およびパルス位相（タイミング）が一致するように制御する構成である。

【0013】一般に、モード間の位相が同期しかつ絶対波長が制御された光信号をモード同期半導体レーザに注入することにより、モード同期半導体レーザの絶対波長とパルス位相（タイミング）を同時に制御することができる（文献：Z. Ahmed, et al., "Locking characteristics of a passively mode-locked monolithic DBR laser stabilized by optical injection", IEEE Photonics Technol. Lett., 8(1), pp. 37-39, 1996）。

【0014】このため、図 2 に示すような光スペクトルの裾が互いに重なるように利得帯域が異なる複数のモード同期半導体レーザを用意し、まず例えば最短波長側のモード同期半導体レーザを基準 CW 光の注入と強制または位相同期ループ安定化により絶対波長とパルス位相（タイミング）を制御する。さらに、その出力パルスの一部を分岐して隣接するモード同期半導体レーザに順次注入することにより、すべてのモード同期半導体レーザの絶対波長とパルス位相（タイミング）を同期させることができ、その結果として広帯域で絶対波長と周波数間隔が安定した標準光周波数を発生させることができる。

【0015】なお、最初に基準 CW 光が注入されるモード同期半導体レーザは最短波長側のものに限らず、例えば最長波長側のモード同期半導体レーザから短波長側へ順次制御するようにしてもよい。

【0016】

【発明の実施の形態】図 1 は、本発明の標準光周波数発生装置の基本構成を示す。複数のモード同期半導体レーザ 11-1、11-2、11-3 は、図 2 に示すよう

に、光スペクトルの裾が互いに重なるように利得帯域が異なる。その中で、最も短波長の利得をもつモード同期半導体レーザ 11-1 に、基準 CW 光源 12 から光周波数 ν_0 の基準 CW 光を入力し、マイクロ波発振器 13 から周波数 ΔF の変調信号を入力し、強制または位相同期ループ安定化により基準波長と基準タイミングに同期させる。このモード同期半導体レーザ 11-1 の出力パルス 1 の一部を光スプリッタ 14-1 を介して分岐し、隣接のモード同期半導体レーザ 11-2 に光注入して同期させる。これにより、モード同期半導体レーザ 11-2 の出力パルス 2 の絶対波長とパルス位相（タイミング）を同期させることができる。

【0017】次に、モード同期半導体レーザ 11-2 の出力パルス 2 の一部を光スプリッタ 14-2 を介して分岐し、隣接のモード同期半導体レーザ 11-3 に光注入して同期させる。以下、このような分岐、注入を順次行うことにより、すべてのモード同期半導体レーザの絶対波長とパルス位相（タイミング）が一致するように制御することができる。これにより、広帯域の標準光周波数発生装置を実現することができる。

【0018】以下、各部の具体的な構成例について説明する。基準 CW 光源 12 には、HCN ガスの吸収線を基準とした 193.1 THz の絶対波長に光周波数がロックされた狭線幅の DFB レーザが利用できる。

【0019】モード同期半導体レーザ 11 には、図 3 に示す従来の多電極集積型モード同期半導体レーザを用いることができる。パルス位相（タイミング）は、外部からの変調信号をセグメント 1 に印加して制御する。現状では、25 GHz 程度の繰り返し周波数が安定に実現可能である。素子長は、屈折率を 3.5 とした場合に約 1.7 mm が最適値である。基準 CW 光への同期は、セグメント 2 の位相調整領域への注入電流制御によって行う。なお、セグメント 3 は DBR 領域であり、セグメント 4 は利得領域である。電極の分割は、活性層まで届かない浅いエッチングにより行い、内部反射を極力抑えながら分離抵抗 1 k Ω を実現する。

【0020】また、モード同期半導体レーザ 11 には、図 4 に示す高調波衝突パルスモード同期半導体レーザを用いることができる。ここで、図 4 (a) は、両端に利得領域 21 を配置し、中央部に可飽和吸収領域 22 を配置した従来の衝突パルスモード同期半導体レーザの構造を示す。これが高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの基本ユニットとなる。図 4 (b) は、この基本ユニットを直列配置して構成される高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの構造を示す。

【0021】図 4 (a) に示す衝突パルスモード同期半導体レーザ（基本ユニット）では、2 つのパルスがレーザ共振器内を周回するので、レーザ共振器の基本モード間隔の 2 倍の繰り返し周波数のパルス列を発生させることができる。基本ユニットの長さを L_0 、実効屈折率を

n 、真空中の光速を c とすると、モード間隔は $\Delta F_m = c / (n L_o)$

となる。例えば、 $n = 3.5$ 、 $L_o = 450 \mu m$ とすると、繰り返し周波数は $190 GHz$ となる。

【0022】図4(b)に示す高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの構造では、基本ユニットが同一ならば高調波モード同期パルスの繰り返し周波数は原則不変である。この場合に基本ユニット数を N とすると、周回するパルスは $2N$ 個であり、基本モード間隔は $1/N$ に減少する。しかし、利得領域の長さは N 倍になるので、基本ユニットよりも大幅な強度改善が期待できる。

【0023】ただし、 N の増大に伴って基本モード間隔が減少し、高調波モード同期が不安定になるおそれがある。しかし、図4(b)に示すように、周回するパルスが同時に可飽和吸収領域22内で衝突するので、唯一の高調波モード同期状態が安定化される。

【0024】なお、高調波衝突パルスモード同期半導体レーザは、従来の多電極集積型モード同期半導体レーザと同様に、エッチングによる電極分離による多電極構造により実現可能である。

【0025】ここで、図5を参照して高調波衝突パルスモード同期半導体レーザを光注入により安定化する機構について説明する。第1の高調波衝突パルスモード同期半導体レーザは、基準CW光の注入によって絶対波長とパルス位相（タイミング）が安定化された光パルス（スーパーモードオリジナル）を出力し、第2の高調波衝突パルスモード同期半導体レーザに注入される。ここで、スーパーモードとは、高調波モード同期によりロックしたモードであり、図では6次の例が示されている。

【0026】第2の高調波衝突パルスモード同期半導体レーザがオリジナルのスーパーモードに一致するスーパーモード1を呈する場合は、光注入によりそのスーパーモードがオリジナルに同期する。一方、オリジナルのスーパーモードに一致しないスーパーモード2の場合でも、抑圧された基本キャビティモードとオリジナルは調和するので、非注入時のスーパーモード2は光注入によって抑圧され、調和するスーパーモード3が成長する。すなわち、スーパーモードが不一致の場合でも、光注入により最適なスーパーモードが自動的に選択されることになる。

*【0027】このように、繰り返し周波数が高く、発振周波数を注入電流等で容易に調整できない場合にも、抑圧されたキャビティモードの存在意義は高く、モード間隔に関わらず順次絶対波長とパルス位相（タイミング）を安定化させることができる。

【0028】なお、このような高調波衝突パルスモード同期半導体レーザのパルス位相（タイミング）を安定化する方法として、従来より提案されている受動モード同期半導体レーザに対する位相同期ループ安定化回路や、分周ハイブリッドモード同期法等を用いることができる。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の標準光周波数発生装置は、絶対波長と周波数間隔が同時に制御された広帯域の標準光周波数を極めて簡単かつ安価な構成で発生させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の標準光周波数発生装置の基本構成を示す図。

【図2】複数のモード同期半導体レーザの利得帯域の関係を示す図。

【図3】多電極集積型モード同期半導体レーザの構造を示す図。

【図4】高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの構造を示す図。

【図5】高調波衝突パルスモード同期半導体レーザを光注入により安定化する機構について説明する図。

【図6】光変調サイドバンドを利用する従来の標準光周波数発生装置の構成を示す図。

【図7】2つのサイドバンドが裾の部分で位相同期させることにより同期可能であることを示す図。

【図8】位相同期ループを用いた従来の標準光周波数発生装置の構成例を示す図。

【符号の説明】

11 モード同期半導体レーザ

12 基準CW光源

13 マイクロ波発振器

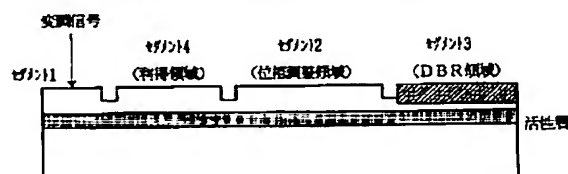
14 光スプリッタ

21 利得領域

22 可飽和吸収領域

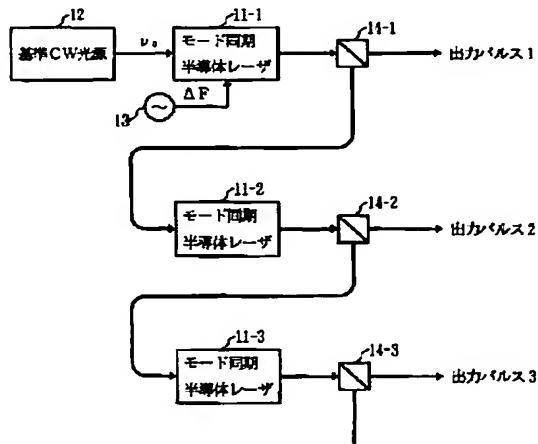
【図3】

多電極集積型モード同期半導体レーザの構成



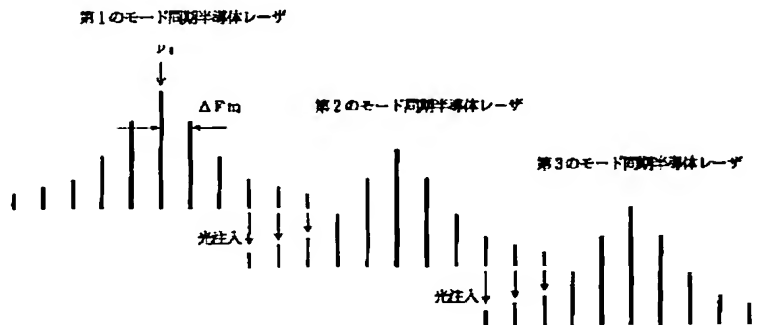
【図1】

本発明の標準光周波数発生装置の基本構成



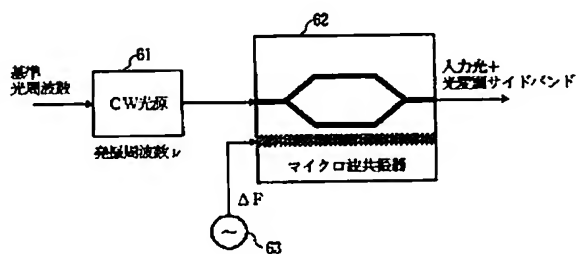
【図2】

複数のモード同期半導体レーザの利得特性の関係



【図6】

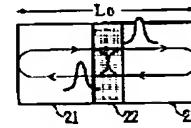
光変調サイドバンドを利用する従来の標準光周波数発生装置の構成



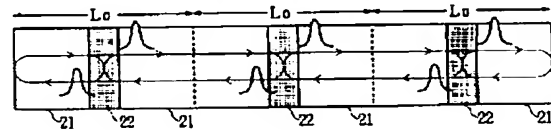
【図4】

高調波衝突パルスモード同期半導体レーザの構造

(a) 衝突パルスモード同期半導体レーザ (基本ユニット)

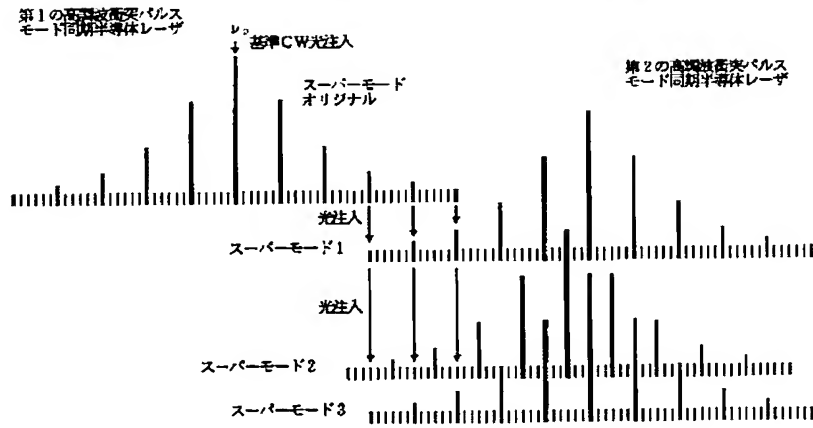


(b) 高調波衝突パルスモード同期半導体レーザ



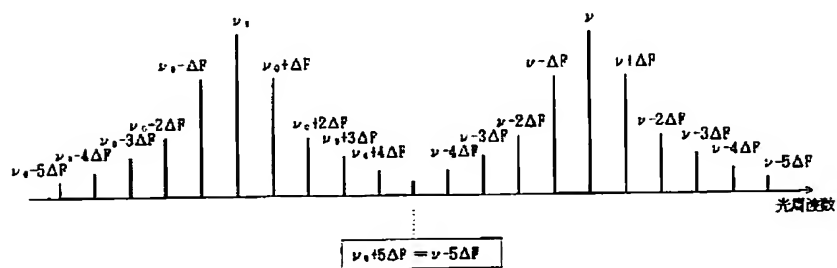
【図5】

高調波衝突パルスモード同期半導体レーザを光注入により安定化する機構



【図7】

2つのサイドバンドが窄の部分で位相同期させることにより同期可能であることを示す図



【図8】

位相同期ループを用いた従来の標準光周波数発生装置の構成例

